

JP11238484

Publication Title:

PROJECTION TYPE CHARGED PARTICLE MICROSCOPE AND SUBSTRATE INSPECTION SYSTEM

Abstract:

Abstract of JP11238484

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a charged particle microscope of projection type suitable for heightening the throughput and provide a board inspection system. **SOLUTION:** An irradiating electron beam 216 emitted from an electron gun 212 is deflected by an energy filter 207, passes a first projection lens 205 and an objective 203, and irradiates a specimen 201 to generate secondary electrons. The secondary electron beam 218 accelerated by a negative voltage applied on the specimen passes the objective 203 and the first projection lens 205 and is deflected by an energy filter 207 to undergo an energy dispersion. Only those secondary electrons which have a specific energy selected are allowed to pass through an energy selecting throat 208 and further pass the second projection lens 209 so that a projection image of secondary electrons is formed in a photographing device 210. The electronic optical system of Fig. 2 is used to make dimensional evaluation and inspection of a semiconductor substrate.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide b59

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-238484

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月31日

(51) Int.Cl.⁹ 識別記号

H 0 1 J 37/26

G 0 1 N 23/20

23/225

H 0 1 J 37/05

37/20

F I

H 0 1 J 37/26

G 0 1 N 23/20

23/225

H 0 1 J 37/05

37/20

A

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-40120

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月23日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地

(72) 発明者 戸所 秀男

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器事業部内

(72) 発明者 石谷 亨

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器事業部内

(72) 発明者 宇佐見 康継

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器事業部内

(74) 代理人 弁理士 高田 幸彦 (外 1 名)

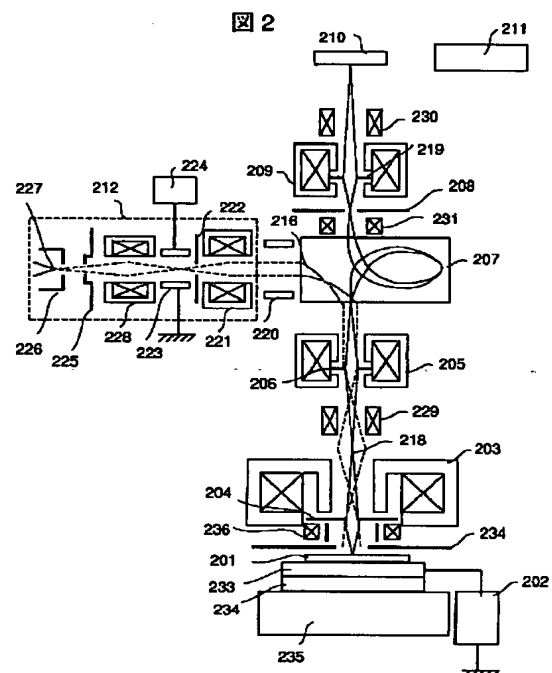
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投射方式の荷電粒子顕微鏡および基板検査システム

(57) 【要約】

【課題】 本発明はスループットを高めるのに適した投射方式の荷電粒子顕微鏡および基板検査システムを提供する。

【解決手段】 電子銃212から放出される照射電子ビーム216はエネルギーフィルター207で偏向され、第1投射レンズ205と対物レンズ203を通り、試料201を照射し、2次電子を発生させる。試料に印加された負電圧により加速された2次電子ビーム218は対物レンズ203と第1投射レンズ205を通過し、エネルギーフィルター207により偏向を受け、エネルギー分散される。選択された特定のエネルギーを持つ2次電子だけがエネルギー選別絞り208を通過し、さらに第2投射レンズ209を通り、撮像装置210に2次電子の投射像を形成する。図2の電子光学系は半導体基板の寸法評価や検査のために用いられる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板を照射ビームで照射する照射手段と、その照射によって前記基板の表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射結像手段と、その結像された荷電粒子像を撮像する撮像手段と、前記基板を保持して X 及び Y 方向に移動させる、位置制御される試料ステージとを具備することを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 2】請求項 1 において、前記荷電粒子のエネルギーを選択する手段を備え、それによって、前記選択されたエネルギーを持つ荷電粒子で前記結像された荷電粒子像が形成されることを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 3】請求項 2 において、前記基板の表面に電場を生成して前記荷電粒子を加速する電場生成手段を備えていることを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 4】請求項 2 において、前記荷電粒子は電子を含み、前記投影結像手段は磁界形の電子レンズ系を含み、前記エネルギー選択手段は磁界形であることを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 5】請求項 2 において、前記荷電粒子は 2 次電子及び後方散乱電子を含み、前記エネルギー選択手段は前記 2 次電子及び後方散乱電子の一方を選択することを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 6】請求項 2 において、偏向装置を備え、前記投射結像手段は前記荷電粒子が通る直線状の第 1 の軸を有し、前記照射手段は前記照射ビームが通る、前記第 1 の軸と直交する第 2 の軸を有し、前記偏向装置は前記第 2 の軸を通る前記照射ビームが前記第 1 の軸に沿って前記基板を照射するように前記照射ビームを偏向することを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 7】請求項 6 において、前記エネルギー選択手段は磁界形のエネルギーフィルターを含み、該エネルギーフィルターは前記偏向手段を兼用していることを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 8】請求項 2 において、前記荷電粒子を加速するように前記基板の表面を負電位に保つ手段を備え、前記投射結像手段は磁界形の対物レンズを含み、前記エネルギー選択手段は磁界形であり、前記対物レンズおよびエネルギー選択手段の動作条件をそれぞれ固定した状態において、前記照射ビームの加速電圧及び前記負電位を変えることにより前記結像される荷電粒子のエネルギーを選択することを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 9】請求項 8 において、前記基板と前記対物レンズの間に磁界形の偏向手段と静電形の偏向手段を具備したことを特徴とする投射方式の荷電粒子顕微鏡。

【請求項 10】基板を照射ビームで照射する照射手段と、その照射によって前記基板の表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射結像手段と、その結像された

荷電粒子像を撮像する撮像手段と、前記基板を保持して X 及び Y 方向に移動させる試料ステージと、前記基板のアライメントを行う手段とを具備することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 11】請求項 10 において、前記荷電粒子のエネルギーを選択する手段を備え、それによって、前記選択されたエネルギーを持つ荷電粒子で前記結像された荷電粒子像が形成されることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 12】請求項 11 において、前記アライメントを行う手段は光学顕微鏡によるアライメント実行手段と前記撮像された投影像によるアライメント実行手段とを含む投射方式の基板検査システム。

【請求項 13】請求項 11 において、前記基板を前記照射ビームで照射している間に次にその照射ビームで照射されるべき別の基板が導入されて真空排気される予備室を備えていることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 14】請求項 11 において、前記基板の位置を測定して基板上の所望位置を定め、その定められた位置と前記照射ビームで照射されるべき位置とを合わせる手段を備えていることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 15】請求項 11 において、偏向装置を備え、前記結像投射手段は前記選択されたエネルギーを持つ荷電粒子を投射する最終投射レンズを含み、前記偏向装置は前記投射される荷電粒子の位置を調整するように前記最終投射レンズと前記撮像手段の間に配置されていることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 16】請求項 11 において、前記アライメント手段は前記基板の画像パターンを使用して前記基板のアライメントを自動的に行うことを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 17】請求項 11 において、前記アライメント手段は前記基板を自動的にアライメントを行う認識手段を有していることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 18】請求項 11 において、前記基板の像を予め保存するメモリを有し、前記アライメント手段は前記基板のアライメントを自動的に行うために、前記保存された像を使用することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 19】請求項 11 において、前記撮像手段の出力を記憶する手段と、前記基板の同一パターン箇所同士の像を比較し、そのパターンの差を検出する手段とを有していることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 20】基板を照射ビームで照射する照射手段と、その照射によって前記基板の表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射結像手段と、その結像された

荷電粒子像を撮像する撮像手段と、前記照射ビームとの関連において前記基板の位置を決定するレーザ測長器を有することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 2 1】請求項 2 0 において、前記荷電粒子のエネルギーを選択する手段を備え、それによって、前記選択されたエネルギーを持つ荷電粒子で前記結像された荷電粒子像が形成されることを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 2 2】請求項 2 1 において、前記撮像手段による撮像中に前記基板を連続的に移動する手段を有することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 2 3】請求項 2 1 において、前記基板の位置を測定して、前記撮像手段との関連において前記基板の所望位置を決定し、その決定された所望位置に前記投射される荷電粒子を偏向する手段を有することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 2 4】請求項 2 3 において、前記撮像手段による前記基板の所望位置の撮像された投射像を記録する手段を有することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 2 5】請求項 2 1 において、前記基板の像を予め保存する手段を有し、前記基板の撮像された像を前記保存された像と比較するようにしたことを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【請求項 2 6】請求項 2 1 において、前記基板を保持し、かつ前記撮像手段による撮像中に前記基板に連続移動と連続回転を与えるを極座標方式の試料ステージを有することを特徴とする投射方式の基板検査システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投射方式の荷電粒子顕微鏡および基板検査システム、特に基板に照射ビームを照射し、それによってその表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射方式の荷電粒子顕微鏡および基板検査システムに関する。

【0002】

【従来の技術】荷電粒子を用いて微細な構造を観察する方法の一つに、検査試料を細く絞った電子ビームで走査し、それによって試料から発生する二次電子、反射電子等の、試料を特徴づける電子を検出し、その検出信号を輝度変調信号とし、CRT (陰極線管) 上に試料の形状を表す像を表示する走査方式の電子顕微鏡がある(走査電子顕微鏡)。この走査電子顕微鏡は、半導体産業でプロセス加工中の微細構造の観察あるいは寸法の計測に用いられている。現在は、微細加工した試料の形状検査と寸法の計測に用いられている。

【0003】

【発明が解決しようする課題】そのような走査電子顕微鏡を用いての寸法計測については既に自動化が図られ、1 時間に数 10 枚程度のウェーハ (試料) を処理する能

力を持っている。しかし、これはウェーハ内の数 10 点程度の寸法を計測する場合である。もし、測定箇所をたとえばその 10 倍にするとか、あるいは加工形状の検査をウェーハ全面に広げるとすると、処理能力すなわちスループットは極端に低下してしまう。

【0004】本発明の目的はスループットを高めるのに適した投射方式の荷電粒子顕微鏡および基板検査システムを提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の特徴は、一つの観点によれば、基板を照射ビームで照射する照射手段と、その照射によって前記基板の表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射結像手段と、その結像された荷電粒子像を撮像する撮像手段と、前記基板を保持して X 及び Y 方向に移動させる、位置制御される試料ステージとを具備する投射方式の荷電粒子顕微鏡にある。

【0006】本発明の特徴は、別の観点によれば、基板を照射ビームで照射する照射手段と、その照射によって前記基板の表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射結像手段と、その結像された荷電粒子像を撮像する撮像手段と、前記基板を保持して X 及び Y 方向に移動させる試料ステージと、前記基板のアライメントを行う手段とを具備する投射方式の基板検査システムにある。

【0007】本発明の特徴は、更に別の観点によれば、基板を照射ビームで照射する照射手段と、その照射によって前記基板の表面から発生する荷電粒子を投射し結像する投射結像手段と、その結像された荷電粒子像を撮像する撮像手段と、前記照射ビームとの関連において前記基板の位置を決定するレーザ測長器を有する投射方式の基板検査システムにある。

【0008】

【発明の実施の形態】既述のように、寸法計測用の通常の走査電子顕微鏡は 1 時間に数 10 枚程度のウェーハ (試料) を処理する能力を持っているが、これはウェーハ内の数 10 点程度の寸法を計測する場合であるにすぎない。したがって、測定箇所を例えばその 10 倍にするとか、あるいは加工形状の検査をウェーハ全面に広げるとすると、処理能力は極端に低下してしまう。

【0009】この処理能力の限界は試料を電子ビームで走査する走査電子顕微鏡の基本的な原理に起因する。本発明はこの処理能力すなわちスループットの改善を図るのに適している。この改善には像形成を走査形像形成からパラレルに画像を形成する投射形像形成に変える必要がある。これは、投射形にすることにより、走査形において 2 次元像を形成する場合の画素数に相当するスループットの改善 (原理としてのスループット改善係数) が得られるからである。たとえば、走査形において 500×500 の画素で二次元像が形成されているとすると、投射形ではそれに対してスループットが 25 万倍となる (観察に要する時間が 12 万分の 1)。この目的に合致す

る装置はいまだ開発されていないが、これに関連する技術は、Ultramicroscopy, 31(1989), 49-57 に、Surface studies by low-energy Electron microscopy (LEEM) and conventional UV photoemission electron microscopy (PEEM) という題名で記載されている。

【0010】この技術の概要を図1を参照して説明するに、電子銃102で加速された電子ビーム116はレンズ103及び偏向システム110を通過して、セパレータ104に入る。セパレータ104には紙面に垂直な方向に磁界Hが印加されている。このため、電子ビーム116は偏向され、対物レンズ117を通過して試料101を照射する。

【0011】試料101には負電圧が印加されている(図示省略)。このため、電子ビーム116は試料101と陰極レンズ115の間で減速される。その減速によって、試料101を照射する電子ビーム116のエネルギーは100 eV以下に調整される。試料101で後方散乱した電子ビーム118は陰極レンズ115で加速され、対物レンズ117を通過してセパレータ104に入る。電子ビーム118は電子ビーム116と方向が逆であるため、セパレータ104により電子銃102とは反対の方向に偏向される。

【0012】偏向された電子ビーム118は中間レンズ106及び投射レンズ107により拡大されて、MCP(マルチチャンネルプレート)108の面に結像される。MCP108で増幅された電子像は蛍光スクリーン109に加速され、蛍光スクリーン109上に光の2次元像が形成される。この2次元像は撮像管119に映して観察される。

【0013】焦点の調整は対物レンズ117で、倍率の調整は中間レンズ106及び投射レンズ107でそれぞれ行う。

【0014】前述の説明は後方散乱した電子を結像する例であるが、試料101を予備電子銃114からの電子により斜めから照射し、発生した二次電子を陰極レンズ115で加速することで二次電子を観察することも可能になっている。112はハロゲンランプで、これからの光で試料101が照射され、それによって電子が励起され、その励起された電子が投射され、像を作る。

【0015】なお、図1において、111は四重極、5は対物絞り、113は電子衝撃用ヒータである。偏向システム110は中間レンズ106の前段並びに投射レンズ107の前段及び後段にも配置されている。

【0016】試料101は100 V以下のエネルギーをもつ電子ビームで照射され、それによって試料101から得られる後方散乱電子が投射形の像形成のために用いられる。この100 V以下の後方散乱電子による投射形像観察は試料101の表面の結晶状態の観察に威力を発揮する。すなわち、それは非常に平坦な試料表面の原子オーダーでの観察に適している。しかし、ミクロン

オーダーの凸凹をもつ半導体ウエハのような基板からなる試料の場合は、その凸凹が作る電界の影響を受けてしまう。したがって、観察する対象は平坦な試料に限られる。

【0017】そこで、半導体ウエハのような基板からなる試料を観察する場合は、照射電子ビームの加速電圧(エネルギー)を高めて、試料の凸凹が作る電界の影響を少なくする必要がある。

【0018】一方、半導体ウエハのような基板からなる試料内には絶縁物が使われているため、試料を照射する電子ビームのエネルギーは絶縁物が帯電しない500 V～1 kVの領域に制限される。また、電子ビームにより発生する2次電子及び後方散乱電子は共に放出時のエネルギーのばらつきが大きいため分解能を向上させるのが難しいという問題がある。

【0019】更に、試料中のホール内部を観察するためには、試料を照射する電子ビームを試料に対して垂直に入射させることが必須になる。

【0020】本発明の実施例では、以上のような課題を解決するために、次の2点が考慮されている。第1点は2次電子を発生させるために試料を照射する電子ビームが試料に垂直に入射するようにしたことである。第2点は2次電子および後方散乱電子の投射結像光学系がエネルギーフィルターを備え、それによって2次電子と後方散乱電子を分離すると共にエネルギーの分布を制限し、投射像の分解能の改善を図ることである。

【0021】図2は本発明の、電子光学系を主体とする基本的な部分の一実施例を示す。X及びY軸方向に移動可能な試料ステージ235に絶縁板234を挟んで試料ホルダ233が載置され、その上面に半導体ウエハのような基板からなる試料201が載置されている。試料ホルダ233には10 kVの負電圧が電源202から印加される。試料201はその裏面で試料ホルダ233と接触しているため、試料201にも10 kVの負電圧が印加される。これによって、試料201の表面には電界が生成される。

【0022】電子銃212から放出される照射電子ビーム216はエネルギーフィルター207の磁界で偏向され、第1投射レンズ205と対物レンズ203を通り、試料201を照射する。照射電子ビーム216の加速電圧は1.1 kVで、第1投射レンズ205と対物203を通過した後、試料201に印加された10 kVの負電圧で1kVに減速される。既述のように、1 kVにすると、試料201が半導体のような絶縁性のものであっても帯電することなしにその観察を行うことができる。

【0023】1 kVに減速された照射電子ビーム216の照射によって試料201から2次電子が発生する。発生した2次電子は試料201に印加された負電圧すなわちその表面に生成された電界によって加速されて2次電子ビーム218になる。2次電子ビーム218は対物レ

レンズ203と第1投射レンズ205を通過し、エネルギーフィルター207に入る。2次電子ビーム218はエネルギーフィルター207の磁界により図のように1回転の偏向を受け、これにより大きなエネルギー分散が起こる。エネルギーフィルター207の出口にはエネルギー選別絞り208が設置され、これによってエネルギー分散された2次電子のうちの特定のエネルギーの2次電子が選択される。すなわち、試料201から発生する2次電子は0から50 V のエネルギーの範囲に分布しているが、このエネルギー分布の一部分のエネルギーを持つ2次電子だけがエネルギー選別絞り208を通過する。具体的には、そのエネルギー分布のピークである2 V を中心として例えば1 V の範囲の2次電子のみがエネルギー選別絞り208を通過する。エネルギー選別絞り208を通過した2次電子ビーム218は第2投射レンズ209を通り、撮像装置210に2次電子の像を投射する(撮像装置210は図1に示されるようにMCP、蛍光スクリーン、撮像管で構成されるが、ここではこれらを撮像装置210としてまとめて示されている)。

【0024】対物レンズ203、第1投射レンズ205および第2投射レンズ209は磁界形の拡大投射レンズを構成している。これらのレンズで構成される投射結像レンズ系は試料201から発生する電子が通る直線状の軸を持っていて、この軸は電子銃210から放出される照射電子ビーム216の軸と直交している。照射電子ビーム216によって励起された2次電子の強度分布(2次電子像)は拡大投射レンズ系によって拡大されて撮像装置210に投射され、これがCRT211に表示される。

【0025】2段の投射レンズは高い倍率を得るために3段あるいはそれ以上とされてもよい。対物レンズ203、第1投射レンズ205および第2投射レンズ209には、それぞれ開口角を制限するための絞り204、206および219が設けられている。

【0026】実施例では2次電子を結像させているが、1 kV の照射電子ビーム216で試料201を照射し、それによって後方散乱した後方散乱電子をエネルギー選別絞り208で選択して結像させてもよい。この場合は、対物レンズ203、第1投射レンズ205、第2投射レンズ209およびエネルギーフィルター207は後方散乱電子のエネルギーに調整される。

【0027】試料201に入射する照射電子ビーム216の照射面積の調整は電子銃212内に設けられた第2コンデンサレンズ221によって調整される。第1コンデンサレンズ228と第2コンデンサレンズ221の間には静電偏向器223が設けられている。試料201の照射電子ビーム216による照射のオン/オフを行うように静電偏向器223はブランキング制御回路224により制御される。これにより、試料201の電子ビー

ムによる無用な照射を避けて、試料201の損傷を防ぐことができる。

【0028】また、記載していないが、例えば試料201としての半導体回路が外部に接続された電源で駆動されている場合は、試料201の位置がその駆動周期で変化する。このような場合は、試料201をその駆動周期と同期させてパルス的に照射電子ビーム216により照射することで、周期的な動作を、これがあたかもなかったかのように観察することができる(ストロボ観察)。ここで観察される動作は配線上の電圧である。この電圧の検知にもエネルギーフィルター207は有効である。外部の電源で駆動しない場合でも、試料201の表面に電圧が存在する場合には、その電位の分布を観察することができる。例えば、材料に依存する表面電圧、あるいはPN接合で起こる電圧等である。

【0029】電子銃212とエネルギーフィルター207の間にある静電偏向器220は励起用電子ビーム216が第1投射205および対物レンズ203の中心を通過するように調整する偏向器である。

【0030】電子銃212は電子源227、ウエーネルト226、アノード225、第1コンデンサレンズ228、第2コンデンサレンズ221および制限絞り222から構成されている。この例の電子源は熱放射形であるが、電界放出形等であってもよい。

【0031】偏向器229は2次電子ビーム218を第1投射レンズ205の軸に合わせるための調整に用いられる。偏向器231は同様にエネルギーフィルター207を通過した2次電子ビーム218を第2投射レンズ209の軸に合わせるための調整に用いられるものである。エネルギー選別絞り208と偏向器231の位置関係は逆であってもよい。また、偏向器230は投射像の撮像位置を調整するもので、検査観察する位置の自動調整に用いられる。偏向器236は磁界と静電界を組み合わせた偏向器で、照射電子ビーム216と2次電子ビーム218の調整を独立に行うことができる。例えば、2次電子ビーム218に対して静電界による偏向が磁界による偏向で打ち消されるようにすると2次電子ビーム218に何ら偏向を与えることなく励起用電子ビーム216の試料201への照射位置を調整することができる。

【0032】試料201の直上に設置されたシールド板234には試料201と同じ電圧が印加されている。このシールド板234は、試料201の裏面に絶縁膜があり、試料201に電圧が印加できない場合に有効である。この原理は同電圧で囲まれた内部は同じ電圧になる原理による。このシールド板234の電子ビームを通す開口の大きさ(直径)は10 mm で、したがって、その開口の、試料201と対物レンズ203との間の電界に与える影響は少ない。

【0033】図3は図2の実施例を加速電圧を異ならせて動作させる場合の概念を示すもので、(1)および

(2)は加速電圧が1 kV および500 V である場合の2次電子の結像の例を、(3)および(4)は加速電圧が1 kV および500 V である場合の後方散乱電子の結像の例をそれぞれ示す。この実施例では、エネルギーフィルターの強度(励起強度)は一定にされている。すなわち、10 kV のエネルギーの電子のみがエネルギーフィルターを通過するようにエネルギーフィルターの磁界強度が調整されている。

【0034】加速電圧を1kV として2次電子を観察する場合には、図3の(1)に示すように、10.998 kV の照射電子を-9.998 kV が印加された試料に照射する。10.998 kV の照射電子は-9.998 kV の試料電圧で減速されて、1 kV で試料を照射する。試料で発生した二次電子のうち2 eV の2次電子は減速電圧の9.998 kV の電圧で逆に加速され、10 kV のエネルギーになってエネルギーフィルターを通過する。これを拡大して投射し、撮像する。加速電圧を500 V にする場合には、図3(2)に示すように、照射電子の加速電圧を10.498 kV にする。

【0035】加速電圧を1 kV として後方散乱電子を観察する場合には、図3の(3)に示すように、照射電子のエネルギーを10 kV とし、試料に-9 kV の電圧を印加する。試料で後方散乱した1 kV の後方散乱電子は減速電圧で逆に10 kV に加速され、エネルギーフィルターを通過する。500 V の後方散乱電子の場合には、図3の(4)に示すように、励起用電子のエネルギーを9.5 kV とする。ここで、エネルギーフィルターは10 kV の電子のみを通過させるように励起強度を固定してあるため、エネルギーが変化する照射電子を軸に合わせる機能が必要になる。

【0036】図4は照射電子の加速電圧変化に対応できるエネルギーフィルターの構造例を示す。このエネルギーフィルターは第1磁極401、第2磁極402および第3磁極403の3つから成り立っている。この磁極内では、紙面に垂直な方向の均一磁界が作られている。第2磁極402では、下方から入ってくる10 kV の電子ビーム404を半径Rで右回転させる。電子ビームは90度回転したところで第2磁極402を離れ、第1磁極401に入る。電子ビームは第1磁極401内で半径R2で180度回転し、第2磁極402に戻る。半径R2は $(R-L/2)$ の式で計算される。ここで、Lは第2磁極402の、第2磁極402への入射電子ビーム404方向の寸法である。第2磁極402に戻った電子ビームは再び半径Rで回転し、ビーム入射の延長線位置で第2磁極402を出射する。

【0037】次に照射電子405の入射について説明する。照射電子の加速電圧は9.5 kV から11 kV の範囲にある。この範囲の加速電圧の照射電子を図2の第1投射レンズ205と対物レンズ203の中心軸に合わせなければならない。まず、10 kV の場合を考える。こ

の場合には、第3磁極403に第2磁極402と同じ強度の磁界を与える。10 kV の照射電子408は半径Rで回転し、電子ビーム404と同じ軸を下方に進み、試料を照射する。照射電子のエネルギーが10 kV以上の場合には、第2磁極402内の回転半径がRより大きくなる(407)。そこで、第3磁極403の磁界を強く、かつ偏向器406で上方向に偏向を与え、軌道407を作るようにし、電子ビーム404と一致させる。具体的な調整法を示すと、偏向器406を高速で上下偏向しながら、第3磁極403の磁界をゆっくりと変化させる。この操作により容易に軌道を探すことができる。励起用電子のエネルギーが低い場合には、電子ビームは軌道409を通るが、この場合も同様な方法で調整することができる。

【0038】図5は本発明を半導体プロセスの寸法評価に適用した場合の一実施例を示す。

【0039】図5においては、図2に示される電子光学系が採用されるものであり、したがって、その部分の図示は省略されている。検査対象(試料)は半導体ウェーハからなる基板である。撮像系501は撮像系制御部502により制御され、ここに投射された2次元像が取り込まれる。取り込まれた2次元像は画像ファイル503に記録される。記録された2次元像は順次寸法計測部504に転送され、線幅あるいはホール径等の計測が実行される。一般には、ラインプロファイルを用いて、しきい値法等で測定される。また、複雑な形状では基準の面積と比較する方法、あるいは設計した形状と比較する方法等が用いられる。画像処理部505では、2次元像のコントラスト強調等の画像処理、あるいはフーリエ変換による自動焦点合わせの情報出力、さらには測定位置を確認する2次元像のパターン認識が実行される。

【0040】試料からの後方散乱電子、二次電子を投射結像するレンズおよび偏向系、エネルギーアナライザー(フィルター)の制御はレンズおよび偏向系制御部506で実行される。試料ステージ508はステージサーボ制御部509で制御される。ステージの位置の決定および制御はリニアセンサーあるいはレーザー測長器で、ミクロンあるいはそれ以下の精度で行われる。ステージ508にはピエゾ素子が組み込まれ、試料の高さを変えられるようになっている。この高さ制御部510は画像処理部505のフーリエ変換による焦点合わせと組み合わせ、自動焦点合わせが実現される。励起用電子光学系507は励起用光学系制御部511によって制御される。ここではレンズおよび偏向系の制御、照射電子のエネルギー設定、試料への電圧印加の制御が実行される。

【0041】ステージ508へのウェーハの搭載は複数の真空予備室(図示していない)を経由して実行される。例えば、2段の真空予備室を備えたものでは、第1の真空予備室で10のマイナス2乗トール程度まで排気し、第2の予備排気室で10のマイナス4乗まで排気し、試

料室内に導入する。試料201を試料室内の試料ステージに搭載する場合には予め試料ホルダ233に印加している負電圧をオフにする。この制御は試料室と真空予備室間のゲートバルブの開閉と連動させる等のシーケンス動作で行われる。ウェーハの搬送はウェーハハンドラー512で行われ、その制御はハンドラー制御部513で行われる。これらの制御部、画像ファイル503、寸法計測部504、画後処理部505はすべてシステム制御部514の計算機によって制御される。この計算機によって装置の動作条件を記憶することはもちろんのこと、測定を実行する際の測定箇所、測定順序、データの管理等の命令を行う。

【0042】図6は図5の実施例を用いて寸法計測を行う際の実行フローを示す。まず、照射電子電圧設定、撮影時間設定、結像電子種の設定(2次電子像/後方散乱電子像)、測定箇所、測定倍率等の条件設定がなされる

(S1)。これらの光学条件は予め調整され、各要素の設定値が計算機に記憶されている。条件設定が完了すると、ウェーハがステージに載せられる(S2)。すなわち、まず、カセット内に収納されているウェーハはロボットハンドで引き出され、第1の真空予備室内に移動され、搭載される。一般には、この移動の過程で、ウェーハのオリエンテーションフラット位置の検知がなされ、ウェーハは常に同じ向きにセットされる。ウェーハが載置され、真空排気がなされる。次に、第2の真空予備室に移動され、さらに高真空中に排気される。その後、試料室との間のゲート(エアーロックバルブ)が開放され、予備室内のウェーハが試料室内のステージに載置される。この搬送もロボットハンドが行う。真空予備室を2系統持つことにより試料を真空排気する時間を短縮することができる。この場合には、ステージに搭載されたウェーハを検査している間に次のウェーハを真空排気する。この方式では検査のスループットを著しく改善することができる。

【0043】次に、ウェーハのアライメントを行う(S3)。これはステージ上に置かれたウェーハの位置補正を行うもので、ウェーハ内の特定位置に作られた2箇所のマーカーを観察することで行われる。アライメントは、光学顕微鏡を設置し、電子投射像による補正前に光学顕微鏡像で実施する場合もある。光学顕微鏡は電子顕微鏡と同軸である必要はない。この場合は、相互位置の補正を行う。ウェーハが位置的に再現するようにステージに載せられるが、完全には再現しない。このずれを計測し、その値をステージの位置制御にフィードバックすることで、位置のずれを補正する。この説明では特定のマーカーを用いたが、ウェーハ内に作られたパターンで代用することも可能である。2箇所を用いる補正ではウェーハの回転ずれも補正できる。

【0044】ウェーハアライメントが終了すると、予め登録されていた測定点が光学軸下に位置付けられるよう

に順次ステージを移動させ、その位置確認を行う(S4、S5)。ステージの位置は光学的に位置決め(レーザー測長)されているため、ステージは数ミクロン以下の精度で停止する。これ以下の精度が要求される場合は、測定箇所(所望箇所)および周辺の像を予めメモリに登録し、登録像との関連においてパターンの認識を行い、測定箇所を像の中心に自動的に合わせる。この位置合わせは、ステージ移動と図2のXおよびY方向の偏向器230を用いて行う。また、対象とする箇所が観察像内にある場合には、寸法計測を行うプロファイルの作成位置を移動させてもよい。

【0045】次に測定のための画像を取得する(S6)。すなわち、まず、焦点合わせを実施する。焦点合わせはレーザー光による斜め照射を行う光学的方法(静電容量を用いる方法も可能)による粗調整と対物レンズの電流を微調整し、画像内の高周波成分が最も高くなる対物レンズの電流値を選択する画後処理による最終調整の2段階で行われる。

【0046】次に、取得した像を用いて、指定された間隔の測定を行う(S7)。紙幅、孔径はもちろんのこと、面積計算等も実施する。

【0047】指定された複数箇所の測定を完了すると、ステージからウェーハを予備室に搬送し、ゲート(エアーロックバルブ)を閉めた後に予備室を大気圧にし、ウェーハをカセットに戻し、終了する(S8)。継続する場合には、次のウェーハを予備室に搬送する。

【0048】次に図5の実施例を用いてウェーハの形状検査を行う例を説明する。寸法測定では、ウェーハ内の5チップを選択し、その各々のチップ内の5箇所を、すなわち合計25箇所を計測するのが典型的な例である。これは部分検査であるに他ならない。ところが、形状検査では、全面の形状を検査する。そこで、図5の実施例を用いての形状検査は図5の実施例を用いての寸法測定と次の3点で異なる。すなわち、(1)スループットの向上を図るため、ステージを連続的に移動させ、移動の過程で、データの収集を行う。(2)ステージの連続移動に伴い、撮像部に1次元の撮像デバイスを用いる(S/Nの改善のため複数個の1次元撮像デバイスを用いることが多い)。(3)形状の異常の判定のためにウェーハ内の同一パターン同士での比較を行う(チップ同士で比較するかあるいはメモリセル同士で比較する方法が用いられる)。

【0049】図7は連続移動で試料としての、ウェーハからなる基板を検査する様子を説明する図である。ウェーハ内にN×n個のチップが配列されている。全チップを含むように(S)からスタートし、(E)で終わるステージの往復走査をする。図では、観察領域が移動しているように表現されているが、視察領域は停止している。(A)で示す間隔が1回の走査で観察できる幅である。この幅は観察分解能あるいは1次元撮像デバイスの

解像度で決まる。通常は数%の重畳があるように設定される。全面を1回走査することで、ウェーハ全面の像が形成できる。ステージの走査速度の変動と走査の非直線性はステージに組み込まれたレーザー位置計測で測定し、設定値からのずれを電子ビームの偏向器(図2の230)にフィードバックすることで補正する。チップ同士の比較では、例えばチップ(1、1)のデータ(画像)を記憶しておき、チップ(1、2)と比較して両者の差を検知する。次にチップ(1、2)のデータとチップ(1、3)を比較する。ここで同じ箇所に差が検知されれば、チップ(1、2)に形状の欠陥があると判定される。説明の都合上、チップ全体の像を比較するように説明したが、チップ内の観察領域の比較で良く、順次消去し、記憶容量が増大することを防ぐことができる。

【0050】図8はチップ内の同一形状を用いて検査するセル比較を説明する図である。この方法は同一形状のメモリーセルが配列されるメモリー部に用いられる。ウェーハの形状の検査では、1個の1次元の撮像デバイスで実施したが、複数個用いることによりS/Nの改善を図ることができ、結果的にはスループットが向上する。

なお、実施例では、X及びY方向に移動可能な試料ステージの連続移動としたが、回転と1軸移動を組み合わせた $r-\theta$ 方式すなわち極座標方式の試料ステージであってもよい。

【0051】本発明の実施例によれば、今までの電子ビーム走査による寸法計測や基板検査では達成することができなかった高いスループットを実現することができる。例えば、走査方式では1枚のウェーハを全面検査するのに10時間必要としたものが、数分で実施することができる。

【0052】

【発明の効果】本発明によれば、スループットを高めるのに適した投射方式の荷電粒子顕微鏡および基板検査システムが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】既知の投射方式の電子顕微鏡の電子光学系を示す図。

【図2】本発明に基づく一実施例中の電子光学系を主体とする基本的な部分の概念図。

【図3】図2の実施例を加速電圧を異ならせて動作させる場合の概念図。

【図4】図2の実施例中の、照射電子の加速電圧変化に対応できるエネルギーフィルターの構造例を示す図。

【図5】本発明を半導体プロセスの寸法評価に適用した場合の一実施例の概念図。

【図6】図5の実施例を用いて寸法計測を行う際の実行フローを示す図。

【図7】図5の実施例において連続移動で試料としての、ウェーハからなる基板を検査する様子を説明する図。

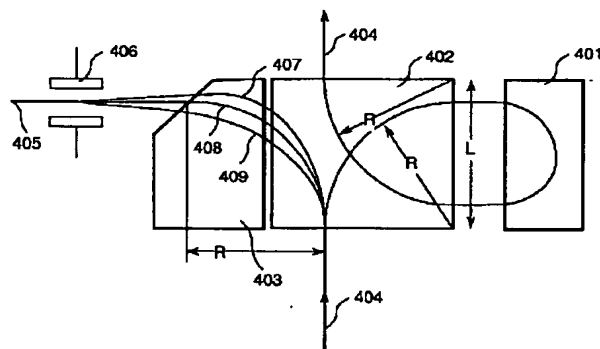
【図8】図5の実施例においてチップ内の同一形状を用いて検査するセル比較を説明する図。

【符号の説明】

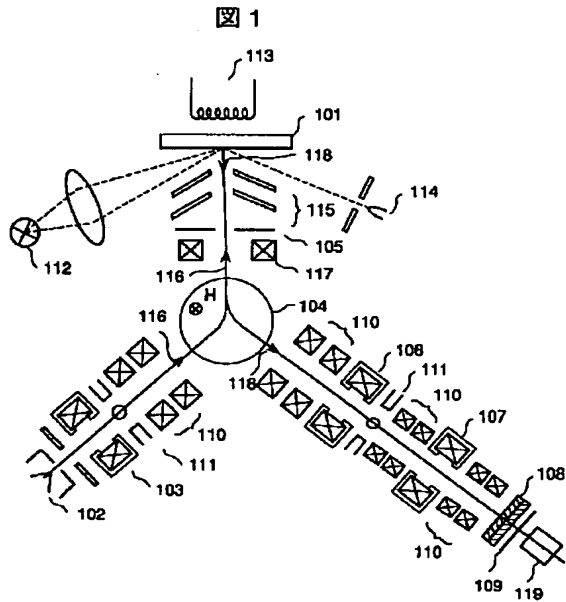
201：試料ステージ、202：電源、203：対物レンズ、204、206、219：絞り、205：第1投射レンズ、207：エネルギーフィルタ、208：エネルギー選別絞り、209：台2投射レンズ、210：撮像装置、211：CRT、212：電子銃、216：照射電子ビーム、218：2次電子ビーム、220：静電偏向器、221：第2コンデンサレンズ、222：制限絞り、223：静電偏向器、224：ブランキング制御回路、225：アノード、226：ウェーネルト、227：電子源、228：第1コンデンサレンズ、229、230、231、236：偏向器、233：試料ホルダ、234：シールド板、235：試料ステージ、401：第1電極、402：第2電極、403：第3電極、404：電子ビーム、405：照射電子ビーム、406：偏向器。

【図4】

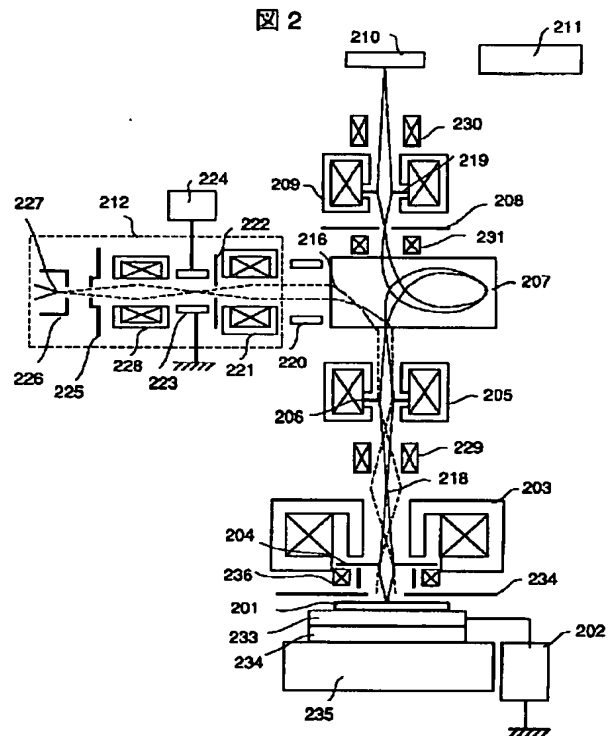
図 4



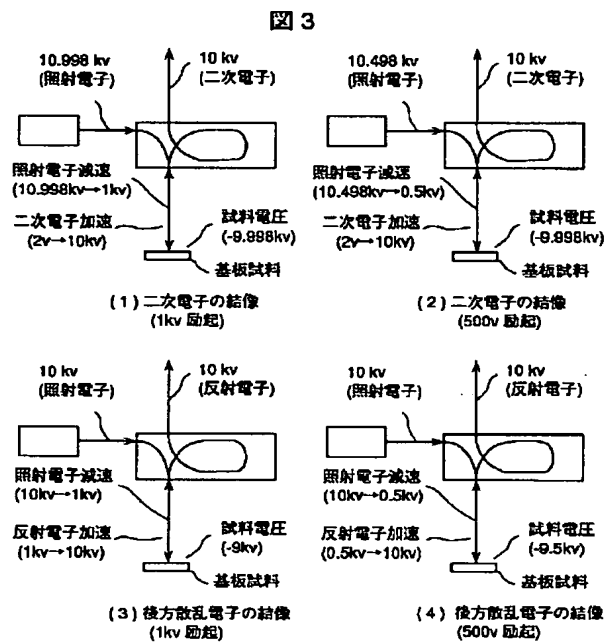
【図 1】



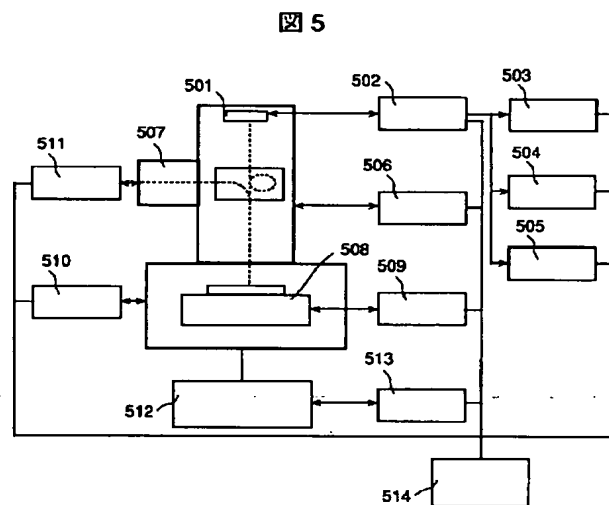
【図 2】



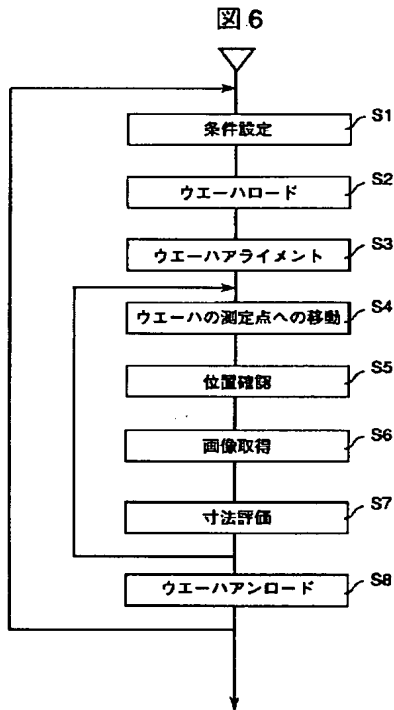
【図 3】



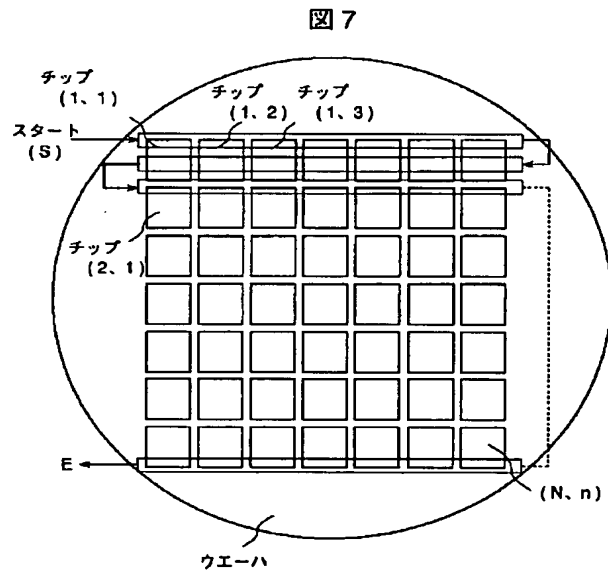
【図 5】



【図 6】

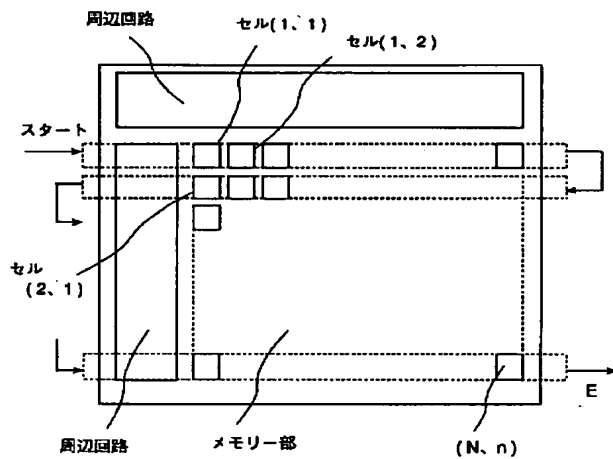


【図 7】



【図 8】

図 8



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

F I

H 0 1 J 49/46

H 0 1 J 49/46

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

J

(72)発明者 田谷 俊陸
茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器事業部内

(72)発明者 品田 博之
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 二宮 拓
茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器事業部内

(72)発明者 大西 毅
茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
式会社日立製作所計測器事業部内